

УДК 630*2+504.054:621.039.79

С.Н. Санников, Н.С. Санникова, И.В. Петрова
(Институт леса УрО РАН)

М.Г. Нифонтова

(Институт экологии растений и животных УрО РАН)

РАДИАЦИОННОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ЛЕСОВ ЗОНЫ ВУРС СУХОЛОЖСКОГО ЛЕСХОЗА

Приведены результаты изучения радиационного загрязнения почв и лесной растительности стронцием-90 и цезием-137. По результатам поквартального и группово-квартального обследования предложено картирование лесов зоны ВУРС Богдановичского лесничества по зонам плотности загрязнения почв стронцием-90. Определены дальнейшие неотложные задачи по завершению радиационного обследования лесов и проведению радиационного мониторинга на сети стационарных участков зоны ВУРС.

Одной из актуальных проблем лесного хозяйства Среднего Зауралья является ликвидация последствий образования Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРС), в результате аварийного выброса атомных отходов на ПО "Маяк" (1957 г.). Территория ВУРС охватывает в пределах Каменского, Богдановичского, Камышловского и Талицкого районов Свердловской области несколько тысяч квадратных километров с населением свыше 250 тыс. человек.

Леса зоны ВУРС Свердловской области, как и в других регионах, являются основным фактором общего радиозоологического баланса местного ландшафта и радиационной защиты населения. Древесина и разнобразная недревесная продукция лесов зоны ВУРС широко используются местным населением на строительство, топливо и побочные пользования (пастыба скота, сенокошение, сбор грибов и ягод, охота и т.д.) и частью вывозятся за пределы региона. Радиоактивное загрязнение всех компонентов лесных экосистем в зонах радиационных аварий значительно и на долгий срок ухудшило их экологические (защитные) и потребительские свойства. Поэтому в последнее время возникла и требует неотложного решения совершенно новая проблема научного обоснования, разработки и реализации специальной системы регламентированных мероприятий по ведению радиационно-безопасного лесного хозяйства (Марадудин и др., 1990; Шубин и др., 1997). Из наиболее актуальных, приоритетных и неотложных проблем радиационной реабилитации

и лесного хозяйства зоны ВУРС Свердловской области является систематизированное поквартальное (или на данном этапе хотя бы группово-квартальное) радиационное обследование лесов, плотности загрязнения их почв, а также, по возможности, древесины и других фракций древесной и недревесной растительности (коры, ветвей, листвы, трав, мхов и т. д.) и разработка на этой базе регламентирующих нормативных рекомендаций по ведению различных лесохозяйственных мероприятий - рубок главного и промежуточного пользования, побочных пользований, лесовосстановления, противопожарных, лесозащитных мер и т.д.

Целью настоящей работы явилось радиационное обследование и анализ плотности загрязнения почв основными радионуклидами (стронцием-90 и цезием-137) с выборочной характеристикой степени радиоактивного загрязнения различных фракций лесной растительности в зоне ВУРС Сухоложского лесхоза Свердловского управления лесами (на территории Богдановичского и Курьинского лесничеств).

Основные задачи данной работы состояли в следующем:

1. Группово-квартальном обследовании и выявлении плотности загрязнения почв основными радионуклидами на территории лесного фонда зоны ВУРС Сухоложского лесхоза на основе данных радиохимического анализа стронция-90 и гамма-спектрометрии цезия-137.

2. Анализе содержания радионуклидов в различных фракциях лесной растительности методом радиохимического анализа (стронций-90) и гамма-спектрометрии (цезий-137) на сети реперных пробных площадей.

Методические принципы и методы

В соответствии с целью и требованиями действовавшего руководства Федеральной службы лесного хозяйства России по радиационному обследованию лесного фонда на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа (на период 1996-2000 гг., М., 1995) основные методические принципы работы сводились к следующему:

Радиационному обследованию загрязнения почв основными радионуклидами в лесах зоны ВУРС путем отбора и прямого измерения удельной активности стронция-90 (радиохимически) и цезия-137 (спектрометрически) в коллективных пробах почвы, отобранных по группам кварталов (2-3) или поквартально в сочетании с изучением удельной активности почв и различных фракций лесной растительности теми же методами на сети реперных пробных площадей (10 пробных площадей).

Подразделению кварталов в лесфонде Сухоложского лесхоза в соответствии с установленными уровнями их радиационного загрязнения

стронцием-90 на 3 зоны с плотностью загрязнения почвы: 0,15-0,5 Ки/км²; 0,5-3 Ки/км² и свыше 3 Ки/км².

Радиационное обследование плотности загрязнения почв стронцием-90 на всей территории зоны ВУРС лесфонда Сухоложского лесхоза выполнено в 49 группах кварталов с отбором проб почвы стандартным пробоотборником с глубины 0-15 см. Коллективные пробы почвы отбирались "конвертом" (в 5-кратной повторности) вблизи границы двух смежных кварталов (в случае группы из двух кварталов) или на перекрестке их границ (для групп из трех кварталов). Всего с учетом реперных пробных площадей взято 49 группово-квартальных проб почвы для определения в них удельной активности стронция-90 радиохимическим и цезия-137 гамма-спектрометрическим методами.

Изучение удельной активности проб почвы, подстилки и различных фракций лесной растительности на 10 реперных пробных площадях, подобранных и заложенных в двух различных по уровню загрязнения стронцием-90 зонах, а именно: в зоне с плотностью загрязнения от 0,5 до 3 Ки/км² (зона II) и в зоне с плотностью загрязнения от 0,15 до 0,5 Ки/км² (зона III). На всех 10 реперных пробных площадях, которые подбирались в древостоях с модальной полнотой преобладающего в данном квартале возраста и породного состава, в соответствии с "Руководством ..." (М., 1994) с помощью стандартного цилиндрического пробоотборника с внутренним диаметром 40 мм и высотой 150 мм отбирались коллективные пробы из верхнего слоя почвы (0-15 см). Керна почвы с ненарушенным сложением брались "конвертом" в 5-кратной повторности не ближе 30-50 м от дорог и просек и объединялись в один средний образец. С помощью почвенного бура Качинского отбиралось по пять образцов из минерального горизонта почвы (с глубины 5-10 см), а также по пять образцов лесной подстилки (размером 20x20x3 см) для определения объемного веса. Место взятия центрального образца почвы (керн) закреплялось постановкой столба высотой 1,3 м (над поверхностью почвы).

Одновременно по методике, описанной в "Руководстве по радиационному обследованию ..." (М., 1994), на каждой реперной пробной площади взяты пробы древесины из верхней, средней и нижней частей ствола, а также образцы коры и ветвей (с общей массой каждой фракции в расчете на воздушно-сухую не менее 2-3 кг) и по одному образцу листвы (хвои) преобладающей древесной породы, лесной подстилки и трав (с общей массой в расчете на воздушно-сухую не менее 500-600 г). Содержание стронция-90 в пробах подстилки, почвы и лесной растительности анализировали в соответствии с "Методикой радиохимического определения стронция-90 в пробах почвы и растительных мате-

риалов" (М., 1994), а цезия-137 - по «Методике выполнения гамма-спектрометрических измерений активности радионуклидов в пробах почв и растительных материалов" (М., 1994), утвержденных Федеральной службой лесного хозяйства России.

Стронций-90 определяли по дочернему иттрию-90, радиометрию осадков которого проводили на малофоновой установке с торцовым счетчиком СБТ-13. Удельную активность цезия-137 измеряли на гамма-спектрометре АИ-256-6 со сцинтиллятором БДЭГ-2-39 на основе монокристалла Na (TL).

Всего выполнено радиохимических анализов содержания стронция-90 и гамма-спектрометрических измерений удельной активности цезия-137: в подстилке - 10, в почве - 10, в древесине березы и осины - 10, в коре - 10, в ветвях - 10, в хвое (листве) - 10, в травах - 10, а в общей сложности - анализ содержания радионуклидов в 70 пробах почвы, подстилки и различных фракций лесных растений.

Анализ плотности загрязнения почв стронцием-90 и цезием-137

Стронций-90. Анализ загрязнения лесных почв зоны ВУРС Сухо-ложского мехлесхоза стронцием-90 в верхнем слое (0-15 см) показал следующее.

По нашим данным хорошо выделяется центральная, тяготеющая к оси ВУРС зона повышенных уровней плотности загрязнения (более $0,5 \text{ Ки/км}^2$) верхнего слоя почв стронцием-90. Условную ось этой зоны с максимальной плотностью загрязнения ($2,14 \text{ Ки/км}^2$) можно провести с юго-запада на северо-восток через кварталы №№ 24-25 Богдановичского лесничества (5 км западнее с. Волково). На юго-востоке эта зона выходит далеко (на 10-15 км) за пределы изолинии первоначальной плотности загрязнения почвы этим радионуклидом, соответствующей $0,2 \text{ Ки/км}^2$, охватывая и 10-километровую полосу территории между изолиниями первоначальной плотности загрязнения $0,2$ и $0,1 \text{ Ки/км}^2$.

Однако в пределах этой зоны ВУРС плотность загрязнения стронцием-90 колеблется в весьма широких пределах - от $0,51$ до $2,14 \text{ Ки/км}^2$ - и крайне мозаична. По-видимому, это обусловлено, прежде всего, неравномерностью выпадения радиоактивных осадков в период аварии 1957 г., а также неодинаковой способностью почв различных типов лесных экосистем к сорбции, инфильтрации и обмену радионуклидов (Алексахин, Нарышкин, 1977; Куликов, Молчанова, 1975; Алексахин и др., 1991). В среднем (из 32 определений) современная плотность загрязнения почв стронцием-90 в очерченной центральной зоне ВУРС равна $0,96 \text{ Ки/км}^2$.

Сравнение плотности загрязнения лесных почв с имеющимися данными о таковой в почвах близлежащих населенных пунктов (Баженов и др., 1995) показывает, что в последнем случае она, как правило, в несколько раз ниже.

Более низкий уровень плотностей загрязнения лесных почв наблюдается в периферийной части обследованной зоны ВУРС - узких (с шириной 3-5 км) северо-западной и юго-восточной полосах этой зоны, в основном за пределами изолиний стронция-90 0,1 Ки/км² с юго-востока и 0,2 Ки/км² с северо-запада (на карте-схеме первоначального загрязнения в 1958 г.). В этих окраинных зонах средняя плотность загрязнения почв стронцием-90 составляет (по 27 определениям) 0,35 Ки/км² с колебаниями от 0,13 до 0,50 Ки/км². Однако она также довольно мозаична, хотя и прослеживается тенденция постепенного уменьшения степени радиостронциевого загрязнения по мере удаления от оси ВУРС.

Полученные нами результаты свидетельствуют о крайней неточности и условности первоначально обозначенных границ зоны ВУРС по данным аэросъемки 1958 г. (которые в несколько раз ниже фактических современных). Поэтому в интересах радиационно-безопасного лесного хозяйства необходимо дальнейшее более широкомасштабное (с выходом на 10-15 км за пределы ранее намеченных границ) поквартальное радиационное обследование лесов всей зоны ВУРС Свердловской области. К аналогичному выводу относительно действительного расположения радиационно опасной зоны ВУРС на западной окраине г. Каменск-Уральского пришли А.В. Баженов и В.Н.Чуканов (1993).

Цезий-137. Плотность загрязнения почв цезием-137 в лесах зоны ВУРС Сухоложского лесхоза так же, как и стронцием-90, очень вариabельна и мозаична. В центральной, осевой части зоны ВУРС, ограниченной изолиниями первоначальной плотности загрязнения стронцием-90 (1958 г.) 0,2 Ки/км², она колеблется от 1,20 до 2,98 Ки/км², в среднем из 18 определений составляя 1,74 Ки/км². При этом отношение плотности загрязнения почв цезием-137 к таковой по радиостронцию также изменяется в широких пределах (от 1,0 до 20,0), в среднем составляя 2,49. Таким образом, по абсолютной (в Ки/км²) и относительной плотности загрязнения радиоцезий преобладает в верхнем слое лесных почв Сухоложского лесхоза.

В периферийной зоне ВУРС, ограниченной изолиниями первоначальной плотности стронция-90 0,1 и 0,2 Ки/км², плотность загрязнения почв цезием-137 изменяется в пределах от 0,84 до 2,92, в среднем составляя 1,51 Ки/км². Таким образом, она здесь примерно такая же, как и в предыдущей центральной зоне ВУРС. Во всяком случае, полученные различия несущественны.

Анализ содержания радионуклидов в лесной растительности

Древесина. На рис. 1 и 2 приведены результаты определения удельной активности стронция-90 и цезия-137 в 10 образцах окоренной древесины модельных деревьев преобладающих видов - березы, сосны и осины - 10 пробных площадей, заложенных в древостоях зоны ВУРС Сухоложского лесхоза, а также радиохимического анализа (стронций-90) и спектрометрии (цезий-137) 50 образцов коры, ветвей, листьев (хвои), травянистой растительности и подстилки. Основные выводы сводятся к следующему.

Как и плотность загрязнения почв лесов, удельная активность древесины весьма мозаично, непредсказуемо распределяется по обследованной территории Сухоложского лесхоза. Тем не менее, по крайней мере, для древесины березы на качественном уровне прослеживается довольно отчетливая прямая связь между плотностью загрязнения почв стронцием-90 и удельным содержанием этого радионуклида в окоренной древесине. Однако для установления статистически надежной региональной связи радиоактивности древесины и других фракций лесной растительности (ветвей, коры, листья, травы) с плотностью загрязнения почвы стронцием-90 необходимо дополнительное накопление данных реперных пробных площадей.

Как показывает расчет по данным 10 пробных площадей, содержание стронция-90 в древесине в среднем (для всех древесных пород) в 6,7 раза, в коре в 3,4 раза, в ветвях в 5,2 раза, в листьях (хвое) в 1,9 раза выше, чем цезия-137.

Кора. Удельная активность коры березы по стронцию-90 в 2-7 раз выше таковой в древесине (рис. 1), составляет 70-81 Бк/кг в III зоне и 35-187 Бк/кг во II зоне. Соответствующие показатели по радиоцезию - 12 и 5-73 (рис. 2). Во II зоне у сосны удельная активность коры по радиостронцию примерно в 4 раза выше, чем у древесины, а у осины - примерно такая же, достигает соответственно 57 и 15 Бк/кг. По радиоцезию соответствующие цифры - всего 1 и 7 Бк/кг (рис. 2).

Листья и хвоя. Из всех фракций фитомассы деревьев листья или хвоя, как функционально наиболее активный компонент, отличаются максимальной удельной радиоактивностью, уступая по этому параметру только подстилке. Так, по радиостронцию в III зоне плотности загрязнения листья березы оказалась примерно в 2 раза активнее (157-159 Бк/кг), чем кора. Во II зоне загрязнения почв, активность листья березы (85-295 Бк/кг) несколько превышала таковую в коре. Аналогичные соотношения в удельной активности листьев и коры отмечаются и по радиоцезию (рис. 2), хотя в среднем уровень содержания этого изотопа в листьях березы и осины обычно в 2-4 раза ниже, чем стронция-90 (44-63 Бк/кг в

III зоне, 35-105 во II зоне плотности загрязнения почв). Крайне незначительный уровень удельной активности стронция-90 (33 Бк/кг) найден в хвое сосны. Вероятно, это обусловлено низкими коэффициентами выноса сосной из почвы минеральных элементов питания, по сравнению с листовыми древесными видами и травами.

Подстилка. По согласному мнению многих авторов (Алексахин, Нарышкин, 1977; Алексахин и др., 1991; Ветров и др., 1994; Шубин, 1997) от 70 до 90% всего запаса радионуклидов в лесных биогеоценозах находится в подстилке.

Удельное содержание стронция-90 в подстилке лесов, обследованной зоны ВУРС довольно закономерно возрастает от III зоны плотности загрязнения (264-313 Бк/кг) ко II (240-762 Бк/кг, в том числе в сосняке - 386 Бк/кг). Соответствующие параметры загрязнения по радиоцезию - 194-281 и 160-1159 (последний максимум активности найден в грубогумусной подстилке соснового леса, кв. 26 Богдановичского лесничества).

Таким образом, удельная радиоактивность подстилок, как правило, в 2-4 раза выше, чем листвы березы и осины, и более чем в 100 раз выше, чем хвои сосны. Это означает чрезвычайно высокую опасность вторичного радиационного загрязнения в случае возникновения и развития низовых пожаров, особенно в лесах II зоны плотности загрязнения почв стронцием-90. По данным новейших исследований (Dusha-Gudym, 1992), в зонах с плотностью загрязнения почв радиоцезием 5-15 Ки/км² концентрация радионуклидов в золе и недожоге (продукты неполного пиролиза) весьма высока. Таким образом, в лесах на площади гарей возникают открытые источники ионизирующего излучения, которые по уровню загрязнения радионуклидами намного превышают предельно допустимые уровни. Особенно опасны действующие пожары, так как дыхание в атмосфере с высокой концентрацией радионуклидов в газодымовой эмиссии сопровождается высокими дозами инкорпорированной радиоактивной радиации.

Травянистая растительность. Оценка уровней удельной активности радионуклидов в лесной травянистой растительности в обследованной зоне ВУРС весьма важна с точки зрения возможности ее использования для выпаса скота и сенозаготовок. Судя по данным 10 пробных площадей (рис. 1), удельная активность стронция-90 в травах, преобладающих в покрове березовых лесов (злаки, разнотравье) увеличивается со 172-185 Бк/кг в III зоне плотности загрязнения почв до 57-318 Бк/кг во II зоне. Соответствующие цифры по радиоцезию равны 56-94 и 55-176 Бк/кг (рис. 2). Таким образом, как и по фракциям древесной растительности, в травянистых растениях накопление цезия-137 обычно существенно меньше, чем стронция-90.

Напротив, в травяном покрове соснового леса (кв. 26, Богдановичского лесничества) при средней плотности загрязнения почвы и подстилки стронцием-90 ($0,9 \text{ Ки/км}^2$ и 386 Бк/кг соответственно) удельная активность этого радиоизотопа составила 85 Бк/кг , а цезия-137- 137 Бк/кг . Однако это почти не отразилось на накоплении обоих радионуклидов в хвое деревьев, которая содержит всего 33 Бк/кг стронция-90 и 4 Бк/кг цезия-137.

Таким образом, радиационное обследование и изучение лесов зоны ВУРС Богдановичского и Курьинского лесничеств Свердловского управления лесами показало довольно высокие уровни остаточного радиоактивного загрязнения почв и растительности, особенно в юго-западной части лесхоза на границе с Каменск-Уральским районом. Из 95 обследованных кварталов 52% отнесены ко II зоне плотности загрязнения почв стронцием-90 (от $0,50$ до $3,0 \text{ Ки/км}^2$), а 43 - к III зоне ($0,15$ - $0,50 \text{ Ки/км}^2$).

К числу наиболее актуальных задач дальнейших радиоэкологических исследований и научно-производственных разработок по проблемам лесов и лесного хозяйства в зоне ВУРС в Свердловской области на ближайшие три года (1998-2000 гг.) следует отнести:

а) радиационное обследование, изучение и картирование степени загрязнения основными радионуклидами всех лесов зоны ВУРС Свердловской области;

б) изучение и прогноз динамики содержания и миграции радионуклидов в различных компонентах лесных экосистем (почве, древесине стволов, ветвях, листьях, корнях, травах, кустарничков, мхах, подстилке, грибах, животных) в зависимости от их структуры и функций по зонам плотности загрязнения и типам леса на сети стационарных участков (радиационный мониторинг);

в) опытная, научно-производственная разработка способов и технологии ведения радиационно безопасных мероприятий лесного хозяйства в зоне ВУРС на радиоэкологической основе.

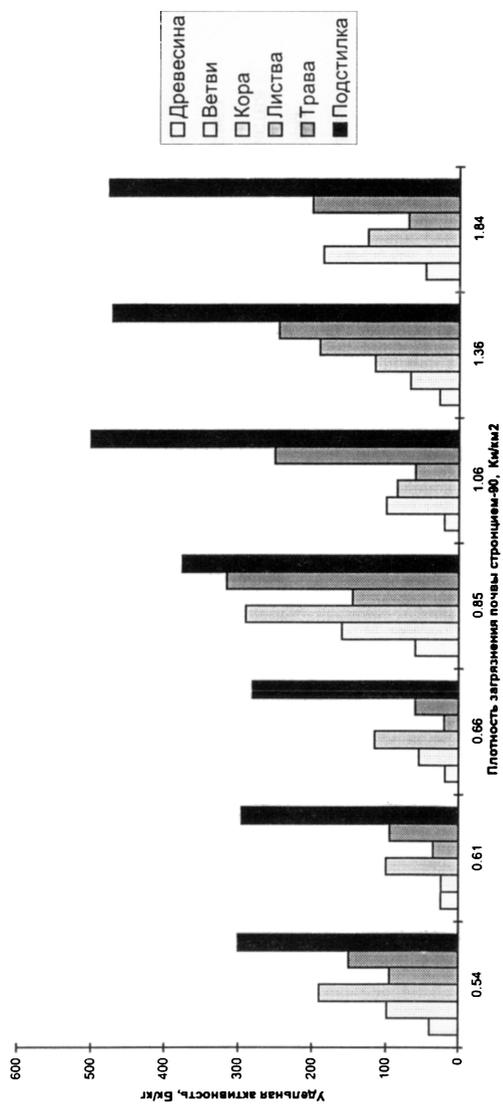


Рис. 1. Удельная активность стронция-90 в различных фракциях лесной растительности и подстилки по зонам плотности загрязнения верхнего слоя почвы (0-15 см) стронцием-90

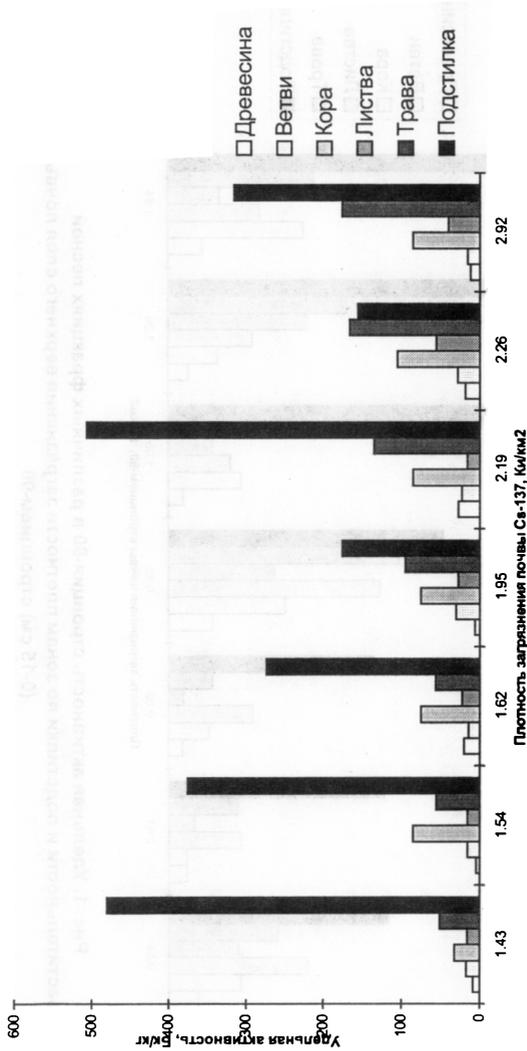


Рис.2. Удельная активность Cs-137 в различных фракциях лесной растительности и подстилке по зонам плотности загрязнения верхнего слоя почвы (0-15 см) Cs-137

ЛИТЕРАТУРА

Алексахин Р.М., Нарышкин М.А. Миграция радионуклидов в лесных биогеоценозах. М.: Наука, 1977.

Алексахин Р.М. и др. Сельскохозяйственная радиоэкология. М.: Экология, 1991. 398 с.

Баженов А.В., Чуканов В.Н. Плотность загрязнения стронцием-90 целинной почвы зоны ВУРСа Каменского района Свердловской области // Реализация Государственной программы Российской Федерации по радиационной реабилитации Уральского региона: Тез. докл. науч.-практ. конф. 26-27 апреля 1993 г. Екатеринбург, 1993. С.5.

Ветров В.А. и др. Оценка и прогноз радиоэкологической ситуации в Уральском регионе. Радиация, экология, здоровье. Средний Урал: Сб. науч. тр. Екатеринбург: УрО РАН, 1994. Ч. I. С. 134-143.

Куликов Н.В., Молчанова И.В. Континентальная радиоэкология. М.; Л.: Наука, 1975. 134 с.

Марадулин И.И. Основы организации и ведения хозяйства в лесах, загрязненных радионуклидами в результате аварии на АЭС: Учеб. пособие. М., 1990.

Мартин Ю. и др. Оценка состояния растительности на территории и в окрестностях города Каменск-Уральского // Реализация Государственной программы Российской Федерации по радиационной реабилитации Уральского региона. Екатеринбург, 1993. С. 12.

Методика выполнения гамма-спектрометрических измерений активности радионуклидов в пробах почвы и растительных материалов. М.: Федеральная служба лесного хозяйства России. 1994. 12 с.

Методика радиохимического определения стронция-90 в пробах почвы и растительных материалов. М.: Федеральная служба лесного хозяйства, 1994. 16 с.

Руководство по радиационному обследованию лесного фонда на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа (на период 1994-1995 гг.). М.: Федеральная служба лесного хозяйства России, 1994. 14 с.

Dusha-Gudym S.I. Forest fires on the Areas Contaminated by Radionuclides from the Chernobyl Nuclear Power Plant Accident, // Intern. Forest fire News, 1992. № 7. P. 4-6.

Шубин В.А. Система мероприятий по ведению лесного хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения лесного фонда: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Екатеринбург: УГЛТА, 1997.